

《化工原理》作业

来自 Xzonn 的小站

更新于 2021-01-13 19:58 · 渲染于 2021-01-13 20:40



第 1 次作业

2

所有螺钉所承受的压力与储油罐孔盖处的压力相等，将所需的螺钉数目记作 n ，则有：

$$n\pi\left(\frac{14}{2}\right)^2 \times 32.23 \times 10^6 = 960 \times (9.6 - 0.8) \times 9.81\pi\left(\frac{760}{2}\right)^2$$

求得：

$$n = \frac{960 \times 8.8 \times 9.81 \times 760^2}{14^2 \times 3.223 \times 10^7} = 7.58$$

上取整，即至少需要 8 个螺钉。

3

$$p_A = \rho_{\text{水}} g R_3 + \rho_{\text{汞}} g R_2 = (1000 \times 9.81 \times 0.05 + 13600 \times 9.81 \times 0.05) \text{ Pa} = 7.16 \times 10^3 \text{ Pa (表压)}$$

$$p_B = p_A + \rho_{\text{汞}} g R_1 = (7.16 \times 10^3 + 13600 \times 9.81 \times 0.4) \text{ Pa} = 6.05 \times 10^4 \text{ Pa (表压)}$$

4

$$\rho_{\text{煤油}} g h + \rho_{\text{水}} g (H - h) = \rho_{\text{汞}} g R$$

故：

$$h = \frac{\rho_{\text{水}} g H - \rho_{\text{汞}} g R}{\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{煤油}}} = \frac{1000 \times 9.81 \times 1 - 13600 \times 9.81 \times 0.068}{10000 - 820} \text{ m} = 0.418 \text{ m}$$

6

由于扩大室内径和 U 型管内径已知，故右侧液面比左侧液面高出：

$$h = \frac{R \times d^2}{D^2} = 3 \text{ mm}$$

故：

$$p = (\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{油}}) g R + \rho_{\text{油}} g h = ((998 - 920) \times 9.81 \times 0.3 + 920 \times 9.81 \times 0.003) \text{ Pa} = 2.57 \times 10^2 \text{ Pa}$$

第 2 次作业

8

(1) 由伯努利方程, 有:

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + W_e = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_f$$

水槽截面较大, 故水槽内的流速 $u_1 \approx 0$; 水面与大气接触, 表压均为大气压; 故:

$$g(Z_1 - Z_2) = \frac{u^2}{2} + 6.5u^2 = 7u^2$$

即:

$$u = \sqrt{\frac{9.81 \times (8 - 2)}{7}} \text{ m/s} = 2.90 \text{ m/s}$$

(2) 由已知:

$$V_s = \frac{\pi}{4} u d^2 = \frac{\pi}{4} \times 2.90 \times 3600 \times 0.1^2 \text{ s} = 82.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

10

水槽截面较大, 其流速视为 0。研究水槽表面到取水口的过程:

$$0 = gZ_1 + \frac{u^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + \sum h_{f,1}$$

求得:

$$u = \sqrt{\frac{9.81 \times 1.5 + 24.66}{2.5}} \text{ m/s} = 2.0 \text{ m/s}$$

研究取水口到排水口的过程:

$$gZ_1 + \frac{u^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + W_e = gZ_2 + \frac{u^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_{f,2}$$

求得:

$$\begin{aligned} W_e &= g(Z_2 - Z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \sum h_{f,2} \\ &= [9.81 \times 12.5 + (98.07 + 24.66) + 10 \times 2.0^2] \text{ J/s} \\ &= 285.4 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

质量流量为:

$$w_e = \frac{\pi}{4} u \rho d^2 = \left[\frac{\pi}{4} \times 2.0 \times 10^3 \times (0.076 - 0.0025)^2 \right] \text{ kg/s} = 7.9 \text{ kg/s}$$

故功率为:

$$W = W_e w_e = (285.4 \times 7.9) \text{ W} = 2.25 \text{ kW}$$

12

(1) 研究 $A \rightarrow A$ 的过程:

$$W_e = \sum h_{f,AB} + \sum h_{f,BA} = (98.1 + 49) \text{ J/kg} = 147.1 \text{ J/kg}$$

质量流量为:

$$w_e = V_e \rho = \frac{36 \times 1100}{3600} \text{ kg/s} = 11 \text{ kg/s}$$

故有效功率为:

$$W = W_e w_e = (147.1 \times 11) \text{ W} = 1.62 \text{ kW}$$

轴功率为:

$$W' = W/\eta = 2.31 \text{ kW}$$

(2) 研究 $A \rightarrow B$ 的过程:

$$\frac{p_A}{\rho} = gZ_B + \frac{p_B}{\rho} + \sum h_{f,AB}$$

求得:

$$\begin{aligned} p_B &= p_A - \rho(\sum h_{f,AB} + gZ_B) \\ &= [245.2 \times 10^3 - 1100 \times (49 + 9.81 \times 7)] \text{ Pa} \\ W &= 6.2 \times 10^4 \text{ Pa(表压)} \end{aligned}$$

13

(1) 对 AD 段列伯努利方程, 有:

$$\frac{p_1}{\rho} = gZ_D + \sum h_f \quad (1)$$

对 BC 段列流体静力学方程, 有:

$$p_B + \rho g R_1 = p_C + \rho g(Z_C - Z_B) + \rho_{\text{汞}} g R_1$$

即:

$$p_B - p_C = \rho g(Z_C - Z_B) + (\rho_{\text{汞}} - \rho) g R_1 \quad (2)$$

列伯努利方程，有：

$$gZ_B + \frac{p_B}{\rho} = gZ_C + \frac{p_C}{\rho} + \sum h_{f,BC} \quad (3)$$

联立 (2)(3) 得到：

$$1.18u^2 = \sum h_{f,BC} = \frac{(\rho_{\text{汞}} - \rho)gR_1}{\rho}$$

即：

$$u = \sqrt{\frac{(\rho_{\text{汞}} - \rho)gR_1}{1.18\rho}} = \sqrt{\frac{(13600 - 1100) \times 9.81 \times 0.045}{1.18 \times 1100}} \text{ m/s} = 2.1 \text{ m/s}$$

代入 (1) 得：

$$\begin{aligned} p_1 &= \rho(gZ_D + 3.18u^2) \\ &= 1100 \times (9.81 \times 10 + 3.18 \times 2.1^2) \text{ Pa} \\ &= 1.23 \times 10^5 \text{ Pa (表压)} \end{aligned}$$

(2) 由流体静力学方程，有：

$$p_B + \frac{u^2}{2} = \rho_{\text{汞}}gR_2 + \rho gh \quad (4)$$

对 BD 段列伯努利方程，有：

$$gZ_B + \frac{p_B}{\rho} = gZ_D + \sum h_{f,BC} + \sum h_{f,CD} \quad (5)$$

联立 (4)(5) 得到：

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{\rho[g(Z_D - Z_B) + 1.68u^2] - \rho gh}{\rho_{\text{汞}}g} \\ &= \frac{1100[9.81 \times 7 + 1.68 \times 2.1^2] - 1100 \times 9.81 \times 0.2}{13600 \times 9.81} \text{ m} \\ &= 611 \text{ mm} \end{aligned}$$

第 3 次作业

2

查 65°C 下水的饱和蒸气压， $p_v = 2.554 \times 10^4 \text{ Pa}$ ， $\rho = 980.5 \text{ kg/m}^3$ 。

对水面到喷头处的过程，有：

$$\frac{p_1}{\rho g} + H = \frac{p_2}{\rho g} + H_f + Z$$

求得:

$$H = \left(\frac{49 \times 10^3}{980.5 \times 9.81} + 1 + 5 + 8 \right) \text{ m} = 19.1 \text{ m}$$

查图 2-28, 选用型号为 IS80-65-125 的泵。

查附录 20, $(NPSH)_r = 3.0 \text{ m}$ 。

$$\begin{aligned} H_g &= \frac{p_0 - p_v}{\rho g} - (NPSH)_r - H_f \\ &= \left(\frac{101.33 \times 10^3 - 2.554 \times 10^4}{980.5 \times 9.81} - 3 - 1 \right) \text{ m} \\ &= 3.9 \text{ m} \end{aligned}$$

3

查得 65Y-60B 型泵流量为 $Q = 19.8 \text{ m}^3/\text{s}$, 气蚀余量 $\Delta h = 2.6 \text{ m}$, 扬程 $H = 38 \text{ m}$ 。

$$H_g = \frac{p_0 - p_v}{\rho g} - H_f = -0.74 \text{ m} > -1.2 \text{ m}$$

$$Z = H - H_{f,0-2} = (38 - 4) \text{ m} = 34 \text{ m}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + H = \frac{p_2}{\rho g} + H_{f,1-2} + \Delta Z$$

则:

$$\begin{aligned} H_e &= \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_{f,1-2} + \Delta Z \\ &= \left(\frac{177 \times 10^3}{760 \times 9.81} + 5 + 5 \right) \text{ m} \\ &= 33.7 \text{ m} < 34 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Q_e = 15 \text{ m}^3/\text{s} < 19.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

故能正常操作。

7

(1)

$$H_e = K + BQ^2$$

$$K = \Delta Z + \frac{\Delta p}{\rho g}$$

由题设吸入、排出空间均为常压设备, $\Delta p = 0$, 即 $K = \Delta Z = 4.8 \text{ m}$ 。

$$\begin{aligned} B &= \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{1}{2g(60 \times 10^3 A)^2} \\ &= 0.03 \times \frac{355}{0.068} \times \frac{1}{2 \times 9.81 \times \left(60 \times 10^3 \times \pi \times \frac{0.068^2}{4}\right)^2} \text{ min}^2/\text{L}^2 \\ &= 1.68 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\text{L}^2 \end{aligned}$$

绘制:

$$H_e = 4.8 + 1.68 \times 10^{-4} Q^2$$

并绘出 $H - Q$ 曲线, 得:
由图可知, 泵的流量为 400 L/min。
(2)
代入 $\Delta p = 1.295 \times 10^5 \text{ Pa}$, 得 $K = 18.0 \text{ m}$ 。
绘入上图, 泵的流量为 310 L/min。

8

若为串联, $H_e = 2H$, 即:

$$10 + 1 \times 10^5 Q_e^2 = 2 \times (25 - 1 \times 10^6 Q^2)$$

解得 $Q_e = 4.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 。
若为并联, $Q = Q_e/2$, 即:

$$10 + 1 \times 10^5 (2Q)^2 = 25 - 1 \times 10^6 Q^2$$

解得 $Q = 3.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_e = 6.55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 。
故并联输液量大。

第 4 次作业

1. 取颗粒试样 500 g, 作筛分分析, 所用筛号及筛孔尺寸见本题附表中第 1、2 列, 筛析后称取各号筛面上的颗粒重量列于本题附表中第 3 列, 试求颗粒群的平均直径。

附表					
筛号	筛孔尺寸/mm	截留量/g	筛号	筛孔尺寸/mm	截留量/g
10	1.651	0	65	0.208	60.0
14	1.168	20.0	100	0.147	30.0
20	0.833	40.0	150	0.104	15.0
28	0.589	80.0	200	0.074	10.0
35	0.417	130	270	0.053	5.0
48	0.295	110	共计: 500		

计算筛分直径:

$$d_1 = \frac{d_{10} + d_{14}}{2} = \frac{1.651 + 1.168}{2} \text{ mm} = 1.410 \text{ mm}$$

同理求出 $d_2 \sim d_{10}$ 为: 1.001, 0.711, 0.503, 0.356, 0.252, 0.178, 0.126, 0.089, 0.064 mm。

由平均粒径公式:

$$\frac{1}{d_a} = \frac{1}{G} \sum \frac{G_i}{d} = \frac{1}{500} \left(\frac{20}{1.410} + \dots + \frac{5}{0.064} \right) = 2.905 \text{ mm}^{-1}$$

则平均粒径为: $d_a = \frac{1}{2.905} \text{ mm} = 0.344 \text{ mm}$ 。

2. 密度为 2650 kg/m^3 的球形石英颗粒在 20°C 空气中自由沉降, 计算服从斯托克斯公式的最大颗粒直径及服从牛顿公式的最小颗粒直径。

(1) 服从斯托克斯公式需要 $Re < 1$, 即 $\frac{du_t \rho}{\mu} < 1$ 。

其中 $u_t = \frac{d^2(\rho_s - \rho)}{18\mu}$, $\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。

故 $\frac{d^3(\rho_s - \rho)g}{18\mu} < 1$, 代入数值得:

$$d < \sqrt[3]{\frac{18\mu^2}{\rho(\rho_s - \rho)g}} = 5.73 \times 10^{-5} \text{ m} = 57.3 \mu\text{m}$$

(2) 服从牛顿公式需要 $10^3 < Re < 2 \times 10^5$ 。

其中 $u_t = 1.74 \sqrt{\frac{d(\rho_s - \rho)g}{\rho}} \text{ cd}$ 。

故 $\frac{1.74d^{3/2}\sqrt{\rho(\rho_s - \rho)g}}{\mu} > 10^3$, 代入数值得:

$$d > \left(\frac{10^3 \mu}{1.74 \sqrt{\rho(\rho_s - \rho)g}} \right)^{2/3} = 1.51 \times 10^{-3} \text{ m} = 1511 \mu\text{m}$$

3. 在底面积为 40 m^2 的除尘室内回收气体中的球形固体颗粒。气体的处理量为 $3600 \text{ m}^3/\text{h}$, 固体的密度 $\rho_s = 3000 \text{ kg/m}^3$, 在操作条件下气体的密度 $\rho = 1.06 \text{ kg/m}^3$, 黏度为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。试求理论上能完全除去的最小颗粒直径。

计算沉降速率:

$$u_t = \frac{V}{b} = \frac{3600}{40} \text{ m/h} = 0.025 \text{ m/s}$$

假设颗粒物符合斯托克斯公式, $Re < 1$, 则:

$$u_t = \frac{d^2(\rho_s - \rho)}{18\mu}$$

即:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu u_i}{(\rho_s - \rho)g}} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ m} = 17.5 \text{ } \mu\text{m}$$

代入计算 $Re = \frac{du_i \rho}{\mu} < 1$, 符合假设。

5. 已知含尘气体中尘粒的密度为 2300 kg/m^3 , 气体流量为 $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ 、黏度为 $3.6 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、密度为 0.674 kg/m^3 , 采用如图 3-7 所示的标准型旋风分离器进行除尘。若分离器圆筒直径为 0.4 m , 试估算其临界粒径、分割粒径及压力降。

选用的标准型旋风分离器 $N_e = 5$, $\zeta = 8.0$, $B = D/4$, $h = D/2$ 。

由 $V_s = Bh u_i$ 得:

$$u_i = \frac{8V}{D^2} = \frac{8 \times 1000}{0.4^2} \text{ m/h} = 50000 \text{ m/h} = 13.89 \text{ m/s}$$

临界直径为:

$$d = \sqrt{\frac{9\mu B}{\pi N_e \rho_s u_i}} = \sqrt{\frac{9 \times 3.6 \times 10^{-5} \times 0.1}{\pi \times 5 \times 12 \times 13.89}} \text{ m} = 8.04 \text{ } \mu\text{m}$$

分割粒径为:

$$d_{50} = 0.27 \sqrt{\frac{\mu D}{u_i (\rho_s - \rho)}} = 0.27 \sqrt{\frac{3.6 \times 10^{-5} \times 0.4}{13.89(2300 - 0.674)}} \text{ m} = 5.73 \text{ } \mu\text{m}$$

压强降为:

$$\Delta p = \zeta \rho \frac{u_i^2}{2} = 8.0 \times 0.674 \times \frac{13.89^2}{2} \text{ Pa} = 520 \text{ Pa}$$

第 5 次作业

1. 平壁炉的炉壁由三种材料组成, 其厚度和导热系数列于本题附表中。若耐火砖层内表面的温度 t_1 为 1150°C , 钢板外表面温度 t_4 为 30°C , 又测得炉壁的热损失为 300 W/m^2 , 试计算导热热通量。若计算结果与实测的热损失不符, 试分析原因和计算附加热阻。

习题 1 附表

序号	材料	厚度 b/mm	导热系数 $\lambda/\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^\circ\text{C}$
1 (内层)	耐火砖	200	1.07
2	绝缘砖	100	0.14
3	钢	6	45

根据多层平壁热传导速率公式, 有:

$$Q = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}{\frac{b_1}{\lambda_1 S_{m1}} + \frac{b_2}{\lambda_2 S_{m2}} + \frac{b_3}{\lambda_3 S_{m3}}} = \frac{t_1 - t_4}{\frac{1}{S} \left(\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3} \right)}$$

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{1150 - 30}{\frac{0.2}{1.07} + \frac{0.1}{0.14} + \frac{0.006}{45}} \text{ W/m}^2 = 1142 \text{ W/m}^2$$

与实测热损失 $q = 300 \text{ W/m}^2$ 有差距，故认为存在附加热阻，即：

$$q' = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}{\frac{b_1}{\lambda_1 S_{m1}} + \frac{b_2}{\lambda_2 S_{m2}} + \frac{b_3}{\lambda_3 S_{m3}} + R} = 300 \text{ W/m}^2$$

$$R = \frac{t_1 - t_4}{q'} - \frac{b_1}{\lambda_1} - \frac{b_2}{\lambda_2} - \frac{b_3}{\lambda_3} = 2.83 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

2. 燃烧炉的内层为 460 mm 厚的耐火砖，外层为 230 mm 厚的绝缘砖。若炉的内表面温度 t_1 为 1400°C ，外表面温度 t_3 为 100°C 。试求导热的热通量及两砖间的界面温度。设两层砖接触良好，已知耐火砖的导热系数为 $\lambda_1 = 0.9 + 0.0007t$ ，绝缘砖的导热系数为 $\lambda_2 = 0.3 + 0.0003t$ 。两式中 t 可分别取为各层材料的平均温度，单位为 $^\circ\text{C}$ ， λ 的单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

设界面温度为 t_2 ，热通量为 q ，则：

$$\lambda_1 = 0.9 + 0.0007 \frac{t_1 + t_2}{2} = 1.39 + 0.00035t_2$$

$$\lambda_2 = 0.3 + 0.0003 \frac{t_2 + t_3}{2} = 0.315 + 0.00015t_2$$

有：

$$\frac{t_1 - t_2}{\frac{b_1}{\lambda_1}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{b_2}{\lambda_2}} \quad \text{即} \quad \frac{1400 - t_2}{\frac{0.46}{\lambda_1}} = \frac{t_2 - 100}{\frac{0.2}{\lambda_2}}$$

解得 $t_2 = 949^\circ\text{C}$ 。

则：

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2}} = \frac{1400 - 100}{\frac{0.46}{\lambda_1} + \frac{0.2}{\lambda_2}} = 1689 \text{ W/m}^2$$

3. 直径为 $\phi 60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的钢管用 30 mm 厚的软木包扎，其外又用 100 mm 厚的保温灰包扎，以作为绝热层。现测得钢管外壁面温度为 -110°C ，绝热层外表面温度为 10°C 。已知软木和保温灰的导热系数分别为 0.043 和 $0.07 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ，试求每米管长的冷量损失量。

根据多层平壁热传导速率公式，有：

$$Q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{1}{S_m} \left(\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} \right)} = \frac{2\pi L(t_1 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2}}$$

则:

$$\frac{Q}{L} = \frac{2\pi(-110 - 10)}{\frac{1}{0.043} \ln \frac{60}{30} + \frac{1}{0.07} \ln \frac{160}{60}} \text{ W/m} = -25 \text{ W/m}$$

5. 在外径为 140 mm 的蒸汽管道外包扎一层厚度为 50 mm 的保温层, 以减少热损失。蒸汽管外壁温度为 180 °C。保温层材料的导热系数 λ 与温度 t 的关系为 $\lambda = 0.1 + 0.0002t$ (t 的单位为 °C, λ 的单位为 W/(m·°C))。若要求每米管长热损失造成的蒸汽冷凝量控制在 $9.86 \times 10^{-5} \text{ kg/(m·s)}$, 试求保温层外侧面温度。

查附录, 180 °C 下饱和水蒸气的汽化热为 2019.3 kJ/kg。则热损失为:

$$\frac{Q}{L} = 9.86 \times 10^{-5} \times 2019.3 \times 10^3 \text{ W/(m·s)} = 199.1 \text{ W/(m·s)}$$

由热传导速率公式:

$$\frac{Q}{L} = \frac{2\pi(t_2 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2}}$$

其中 $\lambda_2 = 0.1 + 0.0002 \frac{t_2 + t_3}{2} = 0.118 + 0.001t_3$, 则:

$$t_3 = t_2 - \frac{Q}{L} \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \frac{1}{2\pi} = 40 \text{ °C}$$

6. 在管壳式换热器中用冷水冷却油。水在直径为 $\phi 19 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的列管内流动。已知管内水侧对流传热系数为 3490 W/(m·°C), 管外油侧对流传热系数为 258 W/(m·°C)。换热器在使用一段时间后, 管壁两侧均有污垢形成, 水侧污垢热阻为 0.0026 (m·°C)/W, 油侧污垢热阻为 0.000176 (m·°C)/W。管壁导热系数 λ 为 45 W/(m·°C)。试求: (1) 基于管外表面积的总传热系数; (2) 产生污垢后热阻增加的百分数。

(1) 由公式:

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_0} &= \frac{1}{\alpha_0} + R_{so} + R_{si} \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o}{\alpha_i d_i} + \frac{bd_o}{\lambda d_m} \\ &= \frac{1}{258} + 0.000176 + 0.00026 \times \frac{19}{15} + \frac{19}{3490 \times 15} + \frac{0.002 \times 19}{16.9 \times 45} \\ &= 0.00479 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} \end{aligned}$$

则 $K_0 = 208 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ 。

(2) 产生污垢前的热阻为:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_0} + \frac{d_o}{\alpha_i d_i} + \frac{b d_o}{\lambda d_m} = 0.00429$$

则增加的百分比为:

$$\frac{R}{R_0} - 1 = \left(\frac{0.00479}{0.00429} - 1 \right) \times 100\% = 11.8\%$$

第 6 次作业

8. 重油和原油在单程套管换热器中呈并流流动, 两种油的初温分别为 243°C 和 128°C , 终温分别为 167°C 和 157°C 。若维持两种油的流量和初温不变, 而将两流体改为逆流, 试求此时流体的平均温度差及它们的终温。假设在两种流动情况下, 流体的物性和总传热系数均不变化, 换热器的热损失可以忽略。

并流流动时, 热流体 $\Delta T = T_1 - T_2 = (243 - 167)^\circ\text{C} = 76^\circ\text{C}$, 冷流体 $\Delta t = t_2 - t_1 = (157 - 128)^\circ\text{C} = 29^\circ\text{C}$ 。

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1 = (243 - 128)^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C}, \quad \Delta t_2 = T_2 - t_2 = (167 - 157)^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}。$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{115 - 10}{\ln \frac{115}{10}} = 43^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q &= W_h c_{ph} (T_1 - T_2) = 76 W_h c_{ph} \\ &= W_c c_{pc} (t_2 - t_1) = 29 W_c c_{pc} \\ &= K_o S_o \Delta t_m \end{aligned}$$

改为逆流流动后, 热流体 $\Delta T = T_1 - T_2 = 243 - T_2$, 冷流体 $\Delta t = t_2 - t_1 = t_2 - 128$ 。

$$\Delta t_1 = T_1 - t_2 = 243 - t_2, \quad \Delta t_2 = T_2 - t_1 = T_2 - 128。$$

$$Q' = W_h c_{ph} (243 - t_2) = W_c c_{pc} (T_2 - 128)$$

其中, $\frac{W_h c_{ph}}{W_c c_{pc}} = \frac{29}{76}$, 即:

$$\frac{243 - t_2}{T_2 - 128} = \frac{29}{76} \quad (1)$$

$$\Delta t'_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(243 - t_2) - (T_2 - 128)}{\ln \frac{243 - t_2}{T_2 - 128}} \quad (2)$$

$$Q' = K_o S_o \Delta t'_m = \frac{243 - T_2}{76} Q$$

$$\frac{\Delta t'_m}{\Delta t_m} = \frac{243 - T_2}{76} \quad (3)$$

联立 (1)(2)(3) 得: $T'_2 = 155.4^\circ\text{C}$, $t'_2 = 161.4^\circ\text{C}$, $\Delta t'_m = 49.7^\circ\text{C}$ 。

9. 在下列各种管壳式换热器中, 某种溶液在管内流动并由 20 °C 加热到 50 °C。加热介质在壳方流动, 其进、出口温度分别为 100 °C 和 60 °C, 试求下面各种情况下的平均温度差: (1) 壳方和管方均为单程的换热器, 设两流体呈逆流流动; (2) 壳方和管方分别为单程和四程的换热器; (3) 壳方和官方分别为二程和四程的换热器。

$$(1) \Delta t_1 = (100 - 50)^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}, \Delta t_2 = (60 - 20)^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = 44.8^\circ\text{C}$$

(2) 由已知计算

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{50 - 20}{100 - 20} = \frac{3}{8}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{100 - 60}{50 - 20} = \frac{4}{3}$$

查图得 $\varphi_{\Delta t} = 0.9$, 则 $\Delta t'_m = \Delta t_m \varphi_{\Delta t} = 40.3^\circ\text{C}$ 。

(3) 查图得 $\varphi_{\Delta t} = 0.98$, 则 $\Delta t'_m = \Delta t_m \varphi_{\Delta t} = 43.9^\circ\text{C}$ 。

10. 在逆流换热器中, 用初温为 20 °C 的水将 1.25 kg/s 的液体 (比热容为 1.9 kJ/(kg·°C)、密度为 850 kg/m³) 由 80 °C 冷却到 30 °C。换热器的列管直径为 $\phi 25 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$, 水走管方。水侧和液体侧的对流传热系数分别为 0.85 kW/(m²·°C) 和 1.70 kW/(m²·°C), 污垢热阻可忽略。若水的出口温度不能高于 50 °C, 试求换热器的传热面积。

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(80 - 50) - (30 - 20)}{\ln \frac{80 - 50}{30 - 20}}^\circ\text{C} = 18.2^\circ\text{C}$$

$$Q = W_h c_{ph} (T_1 - T_2) = 1.25 \times 1.9 \times (80 - 30) \text{ kW} = 118.75 \text{ kW}$$

不计污垢热阻, 则 $\frac{1}{K_o} = \frac{1}{\alpha_o} + \frac{d_o}{\alpha_i d_i}$, 即 $K_o = 0.486 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

又因为 $Q = K_o S_o \Delta t_m$, 故:

$$S_o = \frac{Q}{K_o \Delta t_m} = \frac{118.75}{0.486 \times 18.2} \text{ m}^2 = 13.9 \text{ m}^2$$

12. 在一传热面积为 50 m^2 的单程管壳式换热器中, 用水冷却某种溶液。两流体呈逆流流动。冷水的流量为 33000 kg/h , 温度由 20°C 升至 38°C 。溶液的温度由 110°C 降至 60°C 。若换热器清洗后, 在两流体的流量和进口温度不变的情况下, 冷水出口温度增到 45°C 。试估算换热器清洗前传热面两侧的总污垢热阻。假设: (1) 两种情况下, 流体物性可视为不变, 水的平均比热容可取 $4.187 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; (2) 可按平壁处理, 两种工况下 α_i 和 α_o 分别相同; (3) 忽略管壁热阻和热损失。

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(110 - 38) - (60 - 20)}{\ln \frac{110 - 38}{60 - 20}} ^\circ\text{C} = 54.4^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q &= W_h c_{ph} (T_1 - T_2) = 50 W_h c_{ph} \\ &= W_c c_{pc} (t_2 - t_1) = 18 W_c c_{pc} = \left(18 \times \frac{3.3 \times 10^4}{3600} \times 4.187 \times 10^3 \right) \text{ W} = 6.9 \times 10^5 \text{ W} \\ &= K_o S_o \Delta t_m \end{aligned}$$

则:

$$K_o = \frac{Q}{S_o \Delta t_m} = \frac{6.9 \times 10^5}{50 \times 54.4} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 253.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

清洗后, $\Delta t_1 = (110 - 45)^\circ\text{C} = 65^\circ\text{C}$, $\Delta t_2 = T_2 - 20$ 。

$$\Delta t'_m = \frac{65 - (T_2 - 20)}{\ln \frac{65}{T_2 - 20}} ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q' &= (110 - T_2) W_h c_{ph} \\ &= 25 W_c c_{pc} = 9.6 \times 10^5 \text{ W} \\ &= K'_o S_o \Delta t'_m \end{aligned} \quad (2)$$

联立 (1)(2) 得 $T_w = 40.6^\circ\text{C}$, $\Delta t'_m = 38.6^\circ\text{C}$, $K'_o = 497.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

故污垢热阻 $R = \frac{1}{K_o} - \frac{1}{K'_o} = 1.93 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

第 7 次作业

20. 温度为 90°C 的甲苯以 1500 kg/h 的流量通过蛇管而被冷却至 30°C 。蛇管的直径为 $\phi 57 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$, 弯管半径为 0.6 m , 试求甲苯对蛇管壁的对流传热系数。

查 甲 苯 在 60°C 下 的 物 性 常 数, $\mu = 0.375 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda = 0.143 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\rho = 830 \text{ kg}/\text{m}^3$, $c_p = 1.8376 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 。

$$Re = \frac{d u \rho}{\mu} = \frac{d Q}{A u} = \frac{0.05 \times \frac{1500}{3600}}{\frac{\pi}{4} \times 0.05^2 \times 0.375 \times 10^{-3}} = 2.83 \times 10^4 > 10^4$$

按湍流计算。

$$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda} = \frac{1.8376 \times 10^3 \times 0.375 \times 10^{-3}}{0.143} = 4.82$$

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d_i} Re^{0.8} Pr^n$$

冷却时, n 取 0.3。故:

$$\alpha = 0.023 \times \frac{0.143}{0.05} \times (2.83 \times 10^4)^{0.8} \times 4.82^{0.3} \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} = 384 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\alpha' = \alpha \left(1 + 1.77 \frac{d_i}{r} \right) = 384 \times \left(1 + 1.77 \frac{0.05}{0.6} \right) \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} = 441 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

25. 两平行的大平板放置在空气中, 相距 5 mm。一平板的黑度为 0.1, 温度为 350 K; 另一平板的黑度为 0.05, 温度为 300 K。若将第一板加涂层, 使其黑度变为 0.025, 试计算由此引起的传热量变化的百分率。假设两板间对流传热可以忽略。

传热量分为空气热传导和板间热辐射。考虑空气热传导, 查空气传热系数 $\lambda = 0.282 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, 则:

$$q = \frac{\lambda \Delta t}{b} = \frac{0.282 \times (350 - 300)}{5 \times 10^{-3}} \text{ W/m}^2 = 282 \text{ W/m}^2$$

改变前板间热辐射为:

$$C_1 = \frac{C_0}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{5.67}{10 + 20 - 1} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4) = 0.1955 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

$$q_1 = C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 0.1955 \times (3.5^4 - 3^4) \text{ W/m}^2 = 13.5 \text{ W/m}^2$$

改变后板间热辐射为:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{1}{\epsilon'_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{5.67}{40 + 20 - 1} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4) = 0.096 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

$$q_2 = C_2 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 0.096 \times (3.5^4 - 3^4) \text{ W/m}^2 = 6.63 \text{ W/m}^2$$

则改变的比率为:

$$\frac{q_2 - q_1}{q_1 + q} = \frac{6.63 - 13.5}{13.5 + 282} \times 100\% = -2.3\%$$

26. 在管道中心装有热电偶以测量管内空气的温度。由于气体真实温度 t_1 与管壁温度 t_w 不相同, 故测温元件与管壁间的辐射传热引起测量误差。试推导出计算测温误差 $(t_1 - t_1^*)$ 的关系式。式中 t_1^* 为测量值。并说明降低测

温误差的方法。假设热电偶的黑度为 ε ，空气与热电偶间的对流传热系数为 α 。

空气与热电偶间存在热传导：

$$Q_1 = \alpha S(t_1 - t^*)$$

管壁与热电偶间存在热辐射：

$$Q_2 = C_{1-2}\varphi S \left[\left(\frac{t_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1^*}{100} \right)^4 \right]$$

其中， $\varphi = 1$ ， $C_{1-2} = C_0\varepsilon$ 。

达到平衡时， $Q_1 = Q_2$ ，即：

$$t_1 - t^* = \frac{C_0\varepsilon}{\alpha} \left[\left(\frac{t_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1^*}{100} \right)^4 \right]$$

可行方法：降低热电偶黑度、增大空气热对流常数。

思考题 7. 每小时有一定量的气体在套管换热器中从 T_1 冷却到 T_2 ，冷水进、出口温度分别为 t_1 和 t_2 ，两流体呈逆流流动，并均为湍流。若换热器尺寸已知，气体向管壁的对流传热系数比管壁向水的对流传热系数小得多，污垢热阻和管壁热阻均可以忽略不计。试讨论以下各项：(1) 若气体的生产能力加大 10%，如仍用原换热器，但要维持原有的冷却程度和冷却水进口温度不变，试问应采取什么措施？并说明理由；(2) 若因气候变化，冷水进口温度下降至 t_1' ，现仍用原换热器并维持原冷却程度，则应采取什么措施？说明理由；(3) 在原换热器中，若将两流体改为并流流动，若要求维持原有的冷却程度和加热程度，是否可能？为什么？如不可能，试说明应采取什么措施？（设 $T_2 > t_2$ ）

(1) 可以增大换热面积，增加冷却水流量。

(2) 可以减小换热面积，降低冷却水流量。

理由：对 (1)(2) 均有：

$$Q = C_{pc}W_c(t_2 - t_1)$$

对 (1)， Q 上升，且 $t_2 - t_1$ 不变，则 W_c 上升。

对 (2)， Q 不变，且 $t_2 - t_1$ 升高，则 W_c 下降。

(3) 在逆流时：

$$\Delta t_{m1} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

在并流时：

$$\Delta t_{m2} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}$$

计 $\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \Delta t_1 - \ln \Delta t_2}$, 则 $\frac{1}{\Delta t_m} = \frac{\ln \Delta t_1 - \ln \Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2}$, 为函数图像上两点斜率。

若 $\Delta t_{m1} = \Delta t_{m2}$, 则有 $T_1 - t_2 = T_1 - t_1$, 即 $t_1 = t_2$ 显然不可能。

故不能维持原有冷却程度, 且 $T_1 - t_2 < T_1 - t_1$, 故需要增大换热面积或增加流量。

